Etude mixte qualitative et quantitative sur la maîtriser des compétences d'ingénierie pour la soutenabilité chez des étudiants-ingénieurs

Lou GRIMAL(1), Inès DI LORETO(2), Nadège TROUSSIER(3)

(1) Research Center for Sustainable Processes and Procedures (FZNPV), Darmstadt University of Applied Sciences, Allemagne, (2) LIST3N, Tech-Cico, Université de technologie de Troyes, France, (3) INSYTE, Université de technologie de Troyes, France

DOI : https ://doi.org/10.17184/eac.8908

Résumé : Cet article vise à expliciter les liens entre les compétences d'ingénierie pour la soutenabilité et les possibles manques dans les formations des ingénieurs. Ce travail se base sur une analyse théorique de la littérature scientifique et un travail d'enquête de quatre mois auprès d'étudiants ingénieurs de fin de cursus en master ingénierie du développement durable. Dans une approche constructiviste, une démarche empirico-inductive a été réalisée, permettant de confronter les faits issus de l'enquête de terrain aux cadres théoriques de la littérature scientifique. L'enquête de terrain, associant questionnaires et entretiens de groupes, a permis de montrer que des étudiants, au cours de leurs projets, ont eu des difficultés à mettre en œuvre leur « compétence normative », c'est-à-dire leur « capacité à réfléchir aux normes, valeurs qui fondent les actions des personnes, à négocier les valeurs, principes, objectifs et buts de la soutenabilité dans un contexte de conflit d'intérêt, de concessions et de contradictions » (Quelhas, 2019). Grâce à une analyse qualitative, il a été possible de mieux comprendre les liens entre les compétences d'ingénierie pour la soutenabilité et de définir la compétence normative comme une compétence pivot pouvant bloquer la participation des ingénieurs à l'action pour la soutenabilité. Cela a permis de structurer les compétences en 3 sections : planification, négociation, implémentation ; et de comparer les résultats avec la bibliographie existante sur le sujet, notamment des cadres de référence reliant les compétences pour la soutenabilité entre elles (Redman and Wiek, 2021). Cette étude s'inscrit dans un corpus de travail permettant d'accompagner la communauté académique dans la mise en œuvre de formations d'ingénieurs pour la soutenabilité de bout en bout.

Mots-clés : ingénierie, soutenabilité, normative, compétence

Introduction

La technologie et sa maîtrise est au cœur de la formation des ingénieurs. Or, la production de technologies est directement liée au dérèglement du système Terre[1]. Cela positionne les ingénieurs comme des personnes ayant une responsabilité dans l'absence de transition écologique. (Dubois and Guglieri 2022) rappellent que les ingénieurs en France sont nombreux et nombreuses, et interviennent dans l'ensemble des secteurs de notre société, surtout à des niveaux de responsabilité différentes dans les entreprises et industries. De plus, les ingénieurs conçoivent des technologies et participent activement au système de production. Dans cet article, nous définissons l'ingénierie comme la capacité à incarner des idées dans de la matière. Ainsi, nous percevons l'activité d'ingénierie comme une activité qui puise des ressources dans la biosphère (minéraux) pour répondre aux besoins des sociétés humaines.

Il semble donc important pour les ingénieurs d'agir pour la transition écologique. D'ailleurs, selon la 34^{e} enquête nationale menée par IESF (42000 ingénieurs répondants), la note moyenne sur la capacité d'un ingénieur à traiter le sujet de la contrainte écologique est de 6,5/10 (avec une note de 6,7 sur la motivation personnelle concernant l'écologie). Selon Antoine Picon, l'ingénierie est influencée par la culture dans laquelle elle est pratiquée (Picon 2004). En effet, les ingénieurs sont influencés par les contextes politiques, géopolitiques et culturels de leur époque. Par exemple, Antoine Picon nous dit : « Les contrastes entre les professions d'ingénieur britanniques, françaises ou allemandes sont largement dus à des facteurs politiques et sociaux, depuis les rôles respectifs joués par les administrations de ces pays jusqu'aux différentes conceptions de l'autorité et de la hiérarchie qui imprègnent leurs organisations industrielles. » Étant donné l'entrée de notre société dans l'Anthropocène[2], il semble logique que les ingénieurs soient influencés par ce nouveau contexte.

Cependant, les ingénieurs doivent être formés pour intégrer les enjeux écologiques dans leur cœur de métier. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé de nous intéresser aux formations d'ingénierie pour la soutenabilité[3]. L'hypothèse qui est faite dans cet article est que pour transformer l'ingénierie en tant que pratique, il est possible d'agir sur les formations. Mais comment assurer aux futurs ingénieurs l'acquisition de compétences pertinentes pour les accompagner dans la prise en compte des enjeux écologiques ?

La section suivante est dédiée à un état de l'art sur les compétences d'ingénierie pour la soutenabilité et les liens entre ces compétences. C'est sur la base de ce cadre théorique que nous avons construit une expérimentation permettant d'évaluer des étudiants suivant un cours d'analyse de cycle de vie sur l'évolution de leurs compétences

[1] Ici le Système Terre désigne un ensemble de quatre sous-systèmes : l'atmosphère, l'hydrosphère, la lithosphère et la biosphère. Les sciences du système Terre est un effort transdisciplinaire dont l'émergence et le développement est décrit par (Steffen *et al.* 2020).

[2] Par Anthropocène, nous nous référons à la contribution de (Steffen *et al.* 2011) : l'Anthropocène est un concept décrivant un changement profond dans la relation entre les sociétés humaines et leur écosystème (le système Terre). En effet, ce terme a pour objectif de montrer que la Terre s'éloigne du Climat caractérisant l'Holocène (période géologique dans laquelle l'humanité a évolué depuis 800000 ans) et que cette nouvelle trajectoire a comme origine les activités humaines (« anthropos » signifiant « humain » en grec ancien).

[3] Le terme ingénierie pour la soutenabilité est défini ici comme une ingénierie qui prend en compte les enjeux socio-écologiques.

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

d'ingénierie pour la soutenabilité. Les résultats de cette expérimentation nous ont permis de mettre en évidence un décalage entre les volontés d'étudiants d'agir pour la transition écologique (convictions) et leurs actions lors d'une situation d'ingénierie (pratique).

1 État de l'art

La formation des ingénieurs est un sujet complexe avec différents niveaux d'analyse possible : au niveau des institutions (Kjellgren and Richter 2021), au niveau des programmes d'études (Birdman, Wiek, and Lang 2021), au niveau des cours (Gordon and Thomas 2018). Bien que le niveau institutionnel semble le plus impactant, les niveaux plus micro (comme les programmes d'études et les cours) permettent de mieux comprendre le rôle des activités pédagogiques dans la montée en compétence des étudiants.

Depuis 2011, et les travaux de (Wiek, Withycombe, and Redman 2011), la littérature scientifique a défini des compétences pour la soutenabilité. Ce groupe de compétences est stable depuis une dizaine d'années et est composé de 9 compétences clés : pensée systémique, vision du futur, compétence interpersonnelle (travail dans un groupe interdisciplinaire), résoudre des problèmes, compétence stratégique, compétence intrapersonnelle (connaissance de soi), compétence normative, compétence d'implémentation, compétence d'intégration (Brundiers *et al.* 2021). Comme le montrent Brundiers *et al.* (2021), ces compétences forment un cadre conceptuel cohérent et s'alimentent[4].

L'expression « compétences clés » désigne les compétences essentielles qui n'ont pas été suffisamment abordées par les programmes de formation traditionnels et donc qui requièrent une attention particulière (ce ne sont pas les seules compétences à acquérir). Ce groupe de compétences clés a été adapté à différents contextes, notamment l'entrepreneuriat (Biberhofer *et al.* 2019) et l'ingénierie (Quelhas *et al.* 2019). Étant donné la thématique de nos travaux, nous nous sommes concentrés sur l'adaptation du modèle à l'ingénierie. Dans le cadre théorique de compétences appliqué à l'ingénierie, des modifications ont été apportées par (Quelhas *et al.*, 2019) au cadre initial de Wiek : la compétence « esprit critique » a été ajoutée aux compétences clés, et la compétence d'implémentation a été retirée. Cela est cohérent avec le fait que les ingénieurs sont dans le « faire » et donc ont déjà des formations tournées vers l'implémentation de solutions socio-techniques. Les compétences d'ingénierie pour la soutenabilité et leurs relations sont représentées dans la Figure 1.

Comment acquérir ces compétences ? Plusieurs méthodes pédagogiques ont été identifiées par (Quelhas *et al.* 2019), notamment l'apprentissage par problème (« problem-based learning ») où les étudiants, par groupes tentent de formuler un problème à partir d'une solution réelle (Brundiers, Wiek, and Redman 2010). De manière géné-

[4]Il est important de noter que des publications sur le sujet ont été récemment produites au niveau français et au niveau international. Au niveau national, nous pouvons compter sur la note de « Cadrage et préconisation du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ». Cette note se nomme « Former à la transition écologique pour un développement soutenable les étudiants de 1er cycle » (juin 2023). Au niveau international, il y a exactement le GreenComp, « cadre européen des compétences en matière de durabilité », établi par le Centre commun de recherche (service de la Commission européenne) en 2022.

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

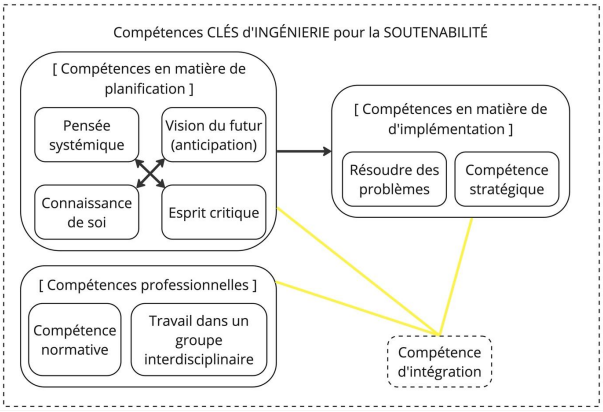


Figure 1 : Schéma des compétences clés d'ingénierie pour la soutenabilité et leurs liens (issus de (Grimal 2023))

rale, l'apprentissage par problème est recommandé par la communauté scientifique pour le développement des compétences pour la soutenabilité (Birdman *et al.* 2021). C'est la raison pour laquelle nous avons fait le choix de nous concentrer sur un cours d'analyse de cycle de vie de master 2 (fin d'étude) où les étudiants devaient travailler avec des parties prenantes non académiques, sur des problèmes concrets. La question de recherche plus précise que nous étudions dans ce travail est : Quels sont les effets d'un cours d'ACV (avec une pédagogie de type « apprentissage en situation réelle ») sur les compétences d'ingénierie pour la soutenabilité ?

2 Méthodologie

Cette section détaille la logique de la méthode générale utilisée pour cette enquête et vient préciser la complémentarité des deux types de collecte de données : les questionnaires d'autoévaluation sur les compétences et les entretiens des groupes projets étudiants.

2.1 Présentation générale de la méthode

Afin de répondre à notre question de recherche, nous avons mis en œuvre une expérimentation dans une classe d'étudiants de fin de cursus, dont une des activités pédagogiques était la réalisation d'une analyse de cycle de vie avec des parties prenantes non académiques. Dans ce cours, les étudiants ont été répartis en 8 groupes projets. Chaque groupe projet devait réaliser une analyse de cycle de vie en collaboration avec un client réel (entreprises, collectifs, associations). Le semestre était composé de 15 semaines, avec 7 semaines d'apprentissage théorique de l'ACV, 7 semaines d'apprentissage pratique de l'ACV, en lien avec un client réel. La dernière semaine était dédiée aux examens.

Pour la collecte de données, une méthodologie mixte quantitative – qualitative a été mise en place. En effet, trois questionnaires d'autoévaluation ont été réalisés pour connaître le niveau d'acquisition de chaque étudiant sur chaque compétence d'ingé-

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

nierie pour la soutenabilité. L'autoévaluation est la méthode la plus utilisée dans la littérature pour évaluer les compétences pour la soutenabilité (Redman, Wiek, and Barth 2021). Le premier questionnaire a eu lieu la première semaine du cours, le deuxième questionnaire a eu lieu à la fin de la première partie du semestre et le dernier questionnaire a été passé juste avant les examens finaux du semestre. En plus de ces questionnaires individuels d'autoévaluation, deux entretiens (de type « focus group ») ont été réalisés avec chaque groupe projet.

La chronologie du semestre avec les moments de récolte de données (questionnaires et entretiens groupés) est représentée dans la Figure 2.

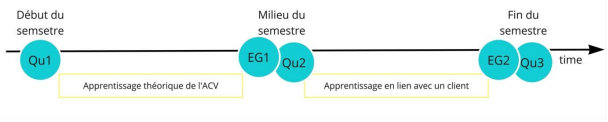


Figure 2 : représentation de la récolte de données. Les cercles « Qu » représentent les questionnaires (1, 2 et 3) tandis que les cercles « EG » représentent les entretiens groupés (1 et 2).

2.2 Questionnaires d'autoévaluation

Les questionnaires étaient composés de deux parties : (1) des questions autour de l'autoévaluation des compétences (questions identiques à Qu1, Qu2 et Qu3) et (2) des questions plus personnelles sur les étudaints (leur parcours de formation, leurs croyances dans la technologie pour mettre en œuvre la transition écologique).

Les questions d'autoévaluation étaient structurées de la même manière sur l'ensemble des compétences et des questionnaires. Cette structure est présente dans la Figure 3.

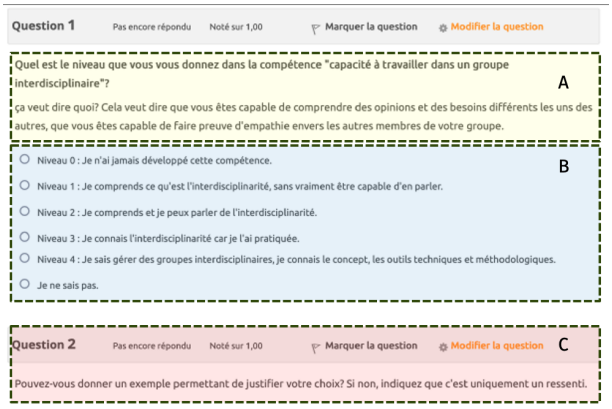


Figure 3 : structuration des questions sur les compétences pour l'autoévaluation des étudiants. Chaque question sur une compétence était divisée en trois parties. Partie A (en jaune) : une question avec la formulation « quel est le niveau que vous vous donnez dans la compétence « nom de la compétence » et une définition de la compétence. Partie B (en bleu) : 5 niveaux d'acquisition de la compétence. Partie C (en rouge) : une demande d'exemple avec une possibilité pour les étudiants d'indiquer uniquement que leur réponse n'est pas basée sur des faits mais sur un ressenti.

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

Pour le questionnaire 1 (début du semestre), d'autres questions étaient posées en fin de questionnaire :

- Qu'est-ce que vous avez fait avant d'arriver dans cette formation ?
- Quelle place prend l'écologie dans votre vie ? Comment est-ce que vous vous êtes intéressé à ce sujet ? Est-ce que vous êtes plutôt novices dans le domaine, bobo écolo ou bien futur membre d'une ZAD ? Est-ce que pour vous l'écologie c'est quelque chose qui vous touche professionnellement ou personnellement, ou les deux ?
- Pensez-vous que la technologie va permettre de résoudre les problématiques écologiques ? Pourquoi ? Quelle est pour vous la place de l'ingénieur dans cette transition écologique ?
- Pour vous, quelle est la place de l'ACV dans la transition écologique ?

Pour le questionnaire 2 (milieu du semestre), il n'y avait pas d'autres questions que celles autour des compétences (autoévaluation).

Pour le questionnaire 3 (fin du semestre), d'autres questions étaient posées en fin de questionnaire :

- Est-ce que la place de l'écologie dans votre a vie a évolué suite au master ? Comment ?
- Après 4 mois à apprendre ce qu'est l'ACV, pour vous, quelle est la place de l'ACV dans la transition écologique ?

Les niveaux d'acquisition des compétences dans le cadre de la partie autoévaluation ont été définis grâce à une grille issue de (Ministère de l'enseignement 2011). Ces niveaux sont faciles à comprendre pour les étudiants car les libellés sont directs « je ne comprends pas la compétence », « je comprends la compétence mais je ne peux pas en parler », « je comprends la compétence, je peux en parler », « je l'ai déjà pratiqué une fois », « je maîtrise des concepts, méthodes et outils pour mettre en œuvre cette compétence ». Chaque niveau a été traduit en chiffre (niveau 0 = 0, niveau 1 = 1, etc) pour pouvoir réaliser des tests statistiques. Des tests de rangs signés de Wilcoxon ont été réalisés entre Qu1 et Qu2 (partie théorique du semestre), entre Qu2 et Qu3 (partie pratique du semestre) et entre Qu1 et Qu3 (ensemble du semestre). Le test de rangs signés de Wilcoxon est un test non paramétrique qui est utilisé pour une mesure répétée, ce qui est le cas dans notre situation avec l'autoévaluation de 9 compétences à 3 moments différents.

L'objectif de ces questionnaires était de comprendre l'évolution des étudiants-ingénieurs au fil du semestre. En effet, l'autoévaluation permettait de définir si les étudiants évoluaient dans l'acquisition de chacune des compétences : par rapport à leur notation (via les 5 niveaux) et aux exemples renseignés dans les champs textes. Via les champs textes, l'objectif était de comprendre quelles activités pédagogiques en lien avec l'ACV ont été bénéfiques pour monter en compétence. Les questions plus larges sur le parcours pédagogique des étudiants et leur engagement dans des causes en lien avec l'écologie avaient pour objectif de comprendre le profil des étudiants-ingénieurs de mon échantillon.

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

2.3 Entretiens groupés

Les entretiens groupés (Gavard-Perret *et al.* 2012) étaient réalisés au milieu du semestre et vers la fin du semestre. L'objectif de la récolte de données lors de ces entretiens groupés était de comprendre les rapports entre les groupes projets et leurs parties prenantes. Ainsi, l'entretien était composé de deux sections : (1) le contact avec les parties prenantes (le nombre de contacts, les modes de contacts, les activités réalisées en commun, les contenus des échanges) et (2) les actions autour de la réalisation de leur analyse de cycle de vie au niveau technique. Seule la partie (1) de l'entretien nous intéresse pour notre analyse puisque la partie autour de l'ACV était focalisée sur les éléments techniques du logiciel ACV. Lors de ces échanges, les étudiants ont pu parler de leurs relations avec leurs parties prenantes et leur compréhension des enjeux de ces parties prenantes pour l'ACV. Ces entretiens ont été retranscrits, puis codés pour comprendre à quel moment les actions des groupes projets pouvaient être mis en lien avec une compétence. Ainsi, une analyse déductive à partir de la grille de compétences et de leurs définitions a été réalisée sur ces entretiens.

3 Résultats

Les résultats obtenus sont multiformes. Tout d'abord, nous avons réussi à avoir un profilage des étudiants participants à l'expérimentation.

3.1 Profils et positionnements des étudiants

Parmi les 38 étudiants, 8 étudiants ont réservé l'écologie à leur sphère personnelle, 3 à la sphère professionnelle et 27 considèrent que l'écologie est à la fois dans leur sphère personnelle et professionnelle. L'échantillon que nous avons est donc composé d'étudiants plutôt engagés sur les enjeux de transition écologique (certain niveau de maturité).

Nous avons posé les questions suivantes aux 38 étudiants : « Pensez-vous que la technologie va permettre de résoudre les problématiques écologiques ? Pourquoi ? Quelle est pour vous la place de l'ingénieur dans cette transition écologique ? ». Les résultats ont été structurés en fonction d'une structure tiré des travaux de (Seager, Selinger, and Wiek 2012) et sont représentés dans le Tableau 1. (Seager *et al.* 2012) définit 3 attitudes envers la technologie : optimisme, pragmatisme et scepticisme. Chacune des attitudes correspond à un type d'ingénierie pour la soutenabilité (dans l'ordre) : ingénierie classique, ingénierie système, science de l'ingénierie soutenable.

Tableau 1 : classement de l'attitude des étudiants envers la technologie

Attitude envers la technologie	**Nombre d'étudiants**
Optimisme	1
Pragmatisme	8
Scepticisme	27
Pas assez d'information pour préciser le positionnement	2

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

Nous pouvons conclure que la majorité des élèves de cette étude avaient une vision « sceptique » du rôle de la technologie dans la transition écologique.

Également, sur la place des ingénieurs, voici des exemples de verbatims (issus des questionnaires) :

- "Je vois plus l'ingénieur dans un rôle d'accompagnement de processus de transition, avec à la fois une culture technique mais aussi une connaissance des enjeux du territoire en question, lui permettant de dialoguer faire le lien entre différents acteurs"
- « L'ingénieur a toute sa place dans la transition écologique, pourvu qu'il intègre les enjeux, qu'il soit techno-critique et humaniste. »,
- « La science de l'ingénieur a réalisé "l'impensable" lors de ces siècles, toutefois nous approchons aujourd'hui de limites physiques. A cela un ingénieur ne pourra plus innover selon la vision sociétale admise à ce jour, principalement associée à la croissance. »,
- « Ainsi, je pense que la place de l'ingénieur dans la transition écologique est d'offrir des solutions éthiques en se servant des technologies sans plus viser le progrès mais la responsabilité environnementale et humaine. »

Il ressort de ces verbatims que l'ingénieur est perçu comme ayant été trop centré sur la technologie et devant davantage prendre en compte les éléments humains des projets. Cette conclusion est à garder en tête étant donné qu'elle sera comparée aux résultats issus des entretiens.

3.2 Évolution des étudiants et activités pédagogiques liées aux compétences

Cette section est centrée sur les résultats issus des questionnaires. Nous allons d'abord présenter les résultats issus des données quantitatives pour comprendre l'évolution des étudiants au fil du semestre sur chaque compétence (Voir Tableau 2). Ensuite, nous verrons quelles activités ont été mentionnées par les étudiants pour justifier leur montée en compétence.

Le test des rangs signés de Wilcoxon permet de définir si la classe étudiante a évolué au cours du semestre. Ces tests ont été réalisé sur notre échantillon plutôt restreint (n=38). Les résultats sont représentés dans le tableau 2. Les résultats montrent que la classe d'étudiants a significativement progressé entre Qu1 et Qu3 sur l'ensemble des compétences. De plus, il est possible de voir que pour certaines compétences, les étudiants ont progressé significativement sur la 1ère partie du semestre : « compétence normative », « compétence d'intégration », « compétence pensée systémique » et « compétence stratégique ». Pour les compétences « compétence esprit critique », « Compétence intégration », « contextualisation et vision du futur », les étudiants ont également progressé significativement sur la 2e partie du semestre.

Certains des résultats sont contre-intuitifs. Par exemple, la compétence normative n'a pas été mobilisée dans les activités pédagogiques sur la première partie du semestre mais pas pour la 2e partie du semestre. Pourtant, les étudiants ont mobilisé cette compétence sur la 2e partie du semestre. Une hypothèse est que les étudiants se sont

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

heurtés à des difficultés lors de la 2e partie du semestre et ont donc diminué leur note par rapport à leur expérience.

Tableau 2 : Résultats de représentativité des Significativité (p) des tests des rangs signés de Wilcoxon réalisées sur les deux parties du semestre et sur le semestre global pour la classe entière

Compétence	**Section du semestre**	**Significativité (p)**
Compétence interpersonnelle (travail dans un contexte interdisciplinaire)	Qu1-Qu2	0.067
	Qu2-Qu3	0.003
	Qu1-Qu3	<0.001
Compétence esprit critique	Qu1-Qu2	0.028
	Qu2-Qu3	<0.001
	Qu1-Qu3	<0.001
Compétence normative	Qu1-Qu2	<0.001
	Qu2-Qu3	0.036
	Qu1-Qu3	<0.001
Compétence intégration (résoudre des problèmes)	Qu1-Qu2	<0.001
	Qu2-Qu3	<0.001
	Qu1-Qu3	<0.001
Compétence pensée systémique	Qu1-Qu2	<0.001
	Qu2-Qu3	0.016
	Qu1-Qu3	<0.001
Compétence intrapersonnelle (connaissance de soi)	Qu1-Qu2	0.005
	Qu2-Qu3	0.103
	Qu1-Qu3	<0.001
Contextualisation et vision du futur	Qu1-Qu2	0.018
	Qu2-Qu3	<0.001
	Qu1-Qu3	<0.001
Compétence stratégique	Qu1-Qu2	<0.001
	Qu2-Qu3	0.024
	Qu1-Qu3	<0.001

En complément des analyses menées sur les données quantitatives, nous avons pu analyser des données qualitatives. En effet, adossé à chaque niveau de compétence, les étudiants pouvaient mentionner des activités pédagogiques ou des cours pour expliquer leur auto-évaluation. Par exemple, pour justifier leur niveau sur la compétence « esprit critique », les étudiants ont mentionné l'activité pédagogique de revue critique

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

dans une démarche d'ACV. Cette activité pédagogique a demandé aux étudiants de lire les rapports ACV de leurs camarades (1 étudiant devant lire 1 rapport) et réaliser une revue critique de ce rapport. Les étudiants avaient une grille leur permettant d'identifier la complétude des rapports de leurs camarades. Dans cet exemple, le lien entre l'activité pédagogique et la compétence semble évidente.

Cependant, de nombreuses activités hors du cours d'analyse de cycle de vie ont été mentionnés. Ces activités ne faisant pas partie du périmètre de l'analyse initial, nous les avons écartés pour cette étude. Cependant, il est intéressant de montrer que les étudiants de master n'ont pas réussi à rester focalisés sur le cours d'analyse de cycle de vie. D'un point de vue pédagogique, ce résultat est une réussite puisque cela a montré que les étudiants ont mis en lien les différents cours de leur programme de formation de master. Cependant, ces résultats ne nous ont pas permis d'identifier quelles activités pédagogiques de l'unité d'enseignement sur l'analyse de cycle de vie ont été utiles pour la montée en compétence des étudiants. Cela pose une question méthodologique pour notre étude : est-ce que des entretiens auraient pu être préférables pour s'assurer une réponse précise des étudiants à la question des activités pédagogiques en ACV.

3.3 Posture et actions : observation d'un paradoxe ?

Cette section est centrée sur la mise en relation des résultats des entretiens et des questionnaires. Les entretiens ont permis de capter les remarques, interrogations, réactions des étudiants lors de la réalisation de leur analyse de cycle de vie. Les questionnaires, par opposition, ont permis de capter leur posture, leurs envies, leurs croyances.

Nous avons présenté les résultats issus des questionnaires dans la section 4.1, où les étudiants ont insisté sur l'importance pour l'ingénieur d'être en relation avec ses parties prenantes, être tourné sur l'humain et les enjeux sociaux. Pourtant, dans l'attitude des étudiants dans la réalisation d'une analyse de cycle de vie, cette appétence pour l'ingénierie tournée vers l'humain a été peu visible. Au contraire, il y a eu une volonté des étudiants de ramener l'analyse de cycle de vie à une méthode centrée autour de l'outil informatique. Cela peut s'observer dans les questions posées par les étudiants lors des sessions de tutorat : les questions étaient tournées vers la modélisation du produit dans le logiciel ACV, dans le choix des données, dans les hypothèses de nomenclature produit. Également, lors des situations de tension avec leurs parties prenantes, les groupes ont fait le choix d'avancer en continuant la modélisation et les choix de conception, sans en informer leurs parties prenantes, quitte à produire un résultat qui ne servirait pas la partie prenante. Cette situation a même été exprimé par un étudiant en fin de semestre « J'avais peur que l'on se retrouve un peu bête avec notre ACV qui ne va pas coller [à leurs attentes] ».

Conclusion

Il existe une contradiction dans les résultats des analyses issues des questionnaires et des entretiens menés. Dans notre expérimentation, nous avons vu que les élèves qui font le choix d'étudier des problématiques d'ingénierie environnementale dans leurs parcours de formation ont des attentes en décalages avec ce qui leur est proposé dans les contenus et activités pédagogiques. Nous avons focalisé notre étude sur la com-

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

pétence normative dans une classe d'analyse de cycle de vie et avons observé une tentation chez les étudiants ingénieurs de ramener l'analyse de cycle de vie à un outil informatique. Également, les étudiants ont rencontré des difficultés à coconstruire la démarche d'analyse environnementale avec leurs parties prenantes. La conclusion est que nous avons observé des difficultés chez les étudiants d'entendre des avis contradictoires (celles de leurs parties prenantes) et à négocier des objectifs qui ne sont pas alignés sur les leurs. Cette étude centrée sur les projets pédagogiques en prises avec des acteurs non-académiques nous a permis de lever la question suivante : comment assurer aux futurs ingénieurs des plus grandes capacités d'agir avec des parties prenantes dans des projets porteurs de transition écologique ? D'autres études pour aider les élèves-ingénieurs à maîtriser la compétence normative sont nécessaires pour compléter nos résultats et comprendre : pourquoi la maitrise de cette compétence reste difficile pour des étudiants en fin de parcours ? Quelles activités précises permettent le développement de cette compétence ? Quelles précautions à prendre pour les enseignants ?

Bibliographie

Biberhofer, Petra, Claudia Lintner, Johanna Bernhardt, and Marco Rieckmann. 2019. 'Facilitating Work Performance of Sustainability-Driven Entrepreneurs through Higher Education : The Relevance of Competencies, Values, Worldviews and Opportunities'. *The International Journal of Entrepreneurship and Innovation* 20(1) :21–38. doi : 10.1177/1465750318755881.

Birdman, Jodie, Arnim Wiek, and Daniel J. Lang. 2021. 'Developing Key Competencies in Sustainability through Project-Based Learning in Graduate Sustainability Programs'. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 23(5) :1139–57. doi : 10.1108/IJSHE-12-2020-0506.

Brundiers, Katja, Matthias Barth, Gisela Cebrián, Matthew Cohen, Liliana Diaz, Sonya Doucette-Remington, Weston Dripps, Geoffrey Habron, Niki Harré, and Meghann Jarchow. 2021. 'Key Competencies in Sustainability in Higher Education—toward an Agreed-upon Reference Framework'. *Sustainability Science* 16 :13–29.

Brundiers, Katja, Arnim Wiek, and Charles L. Redman. 2010. 'Real-world Learning Opportunities in Sustainability : From Classroom into the Real World'edited by Z. Fadeeva and Y. Mochizuki. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 11(4) :308–24. doi : 10.1108/14676371011077540.

Dubois, Carol, and Sabrina Guglieri. 2022. 'Quand la conscience écologique des individus se heurte à leurs pratiques professionnelles : le cas des ingénieurs'. *Sociologies pratiques* 44(1) :59–69. doi : 10.3917/sopr.044.0059.

Gavard-Perret, Marie-Laure, David Gotteland, Christophe Haon, and Alain Jolibert. 2012. 'Méthodologie de La Recherche En Sciences de Gestion'. *Réussir Son Mémoire Ou Sa Thèse* 2.

Gordon, Sue, and Ian Thomas. 2018. ' "The Learning Sticks" : Reflections on a Case Study of Role-Playing for Sustainability'. *Environmental Education Research* 24(2) :172–90. doi : 10.1080/13504622.2016.1190959.

Grimal, Lou. 2023. 'Permaingénierie : Un Cadre Théorique de Transition Vers Un Paradigme de Soutenabilité Forte. Etude Par Les IHM'. These de doctorat, Troyes.

Kjellgren, Björn, and Tanja Richter. 2021. 'Education for a Sustainable Future : Strategies for Holistic Global Competence Development at Engineering Institutions'. *Sustainability* 13(20) :11184. doi : 10.3390/su132011184.

Ministère de l'enseignement. 2011. *Enseignements technologiques transversaux et enseignements spécifiques – cycle terminal de la série STI2D Description de la taxonomie utilisée.*

Picon, Antoine. 2004. 'Engineers and Engineering History : Problems and Perspectives'. *History and Technology* 20(4) :421–36. doi : 10.1080/0734151042000304367.

Quelhas, Osvaldo Luiz Gonçalves, Gilson Brito Alves Lima, Nicholas Van-Erven Ludolf, Marcelo Jasmim Meiriño, Chrystyane Abreu, Rosley Anholon, Julio Vieira Neto, and Leandro Silva Goulart Rodrigues. 2019. 'Engineering Education and the Development of Competencies for Sustainability'. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 20(4) :614–29. doi : 10.1108/IJSHE-07-2018-0125.

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502

Redman, Aaron, Arnim Wiek, and Matthias Barth. 2021. 'Current Practice of Assessing Students' Sustainability Competencies : A Review of Tools'. *Sustainability Science* 16(1) :117–35. doi : 10.1007/s11625-020-00855-1.

Seager, Thomas, Evan Selinger, and Arnim Wiek. 2012. 'Sustainable Engineering Science for Resolving Wicked Problems'. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 25(4) :467–84. doi : 10.1007/s10806-011-9342-2.

Steffen, Will, Jacques Grinevald, Paul Crutzen, and John McNeill. 2011. 'The Anthropocene : Conceptual and Historical Perspectives'. *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369(1938) :842–67. doi : 10.1098/rsta.2010.0327.

Steffen, Will, Katherine Richardson, Johan Rockström, Hans Joachim Schellnhuber, Opha Pauline Dube, Sébastien Dutreuil, Timothy M. Lenton, and Jane Lubchenco. 2020. 'The Emergence and Evolution of Earth System Science'. *Nature Reviews Earth & Environment* 1(1) :54–63. doi : 10.1038/s43017-019-0005-6.

Wiek, Arnim, Lauren Withycombe, and Charles L. Redman. 2011. 'Key Competencies in Sustainability : A Reference Framework for Academic Program Development'. *Sustainability Science* 6(2) :203–18. doi : 10.1007/s11625-011-0132-6.

Published in : VIVIEN, Franck-Dominique ; THURIOT, Fabrice ; BOST, François ; LAQUERRIERE-LACROIX, Aude ; SALEMBIER, Pascal (dir.), *Regards interdisciplinaires sur l'étude et l'enseignement de la transition écologique. Actes du colloque de 2023, Université de Reims Champagne-Ardenne*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005502, doi : 10.17184/eac.9782813005502